Untersuchung über die Ausführbarkeit einer Methode, Kontaktpotentialdifferenzen durch ein trennendes Dielektrikum hindurch zu messen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

EWALD BAUERMANN

aus Leipzig.

Dresden.

Druck von Reinhold Kusch.

1912.

Untersuchung über die Ausführbarkeit einer Methode, Kontaktpotentialdifferenzen durch ein trennendes Dielektrikum hindurch zu messen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

EWALD BAUERMANN

aus Leipzig.

ACAD. LAND.BAT. BIBL.

Dresden.

Druck von Reinhold Kusch.

1912.

Referent: Prof. Dr. Heydweiller.

Meinen Eltern
in Liebe und Dankbarkeit!

Inhaltsverzeichnis.

Seite

§ 1. Einleitung 5

§ 2. Die Meßmethode 6

§ 3. Verminderung der Ladung und der Veränderlichkeit des Ladungsrestes 7

§ 4. Theoretische Betrachtungen über den Einfluß von Ladungen im Dielektrikum 10

§ 5. Experimentelle Prüfung der Meßbarkeit von Kontaktpotentialdifferenzen durch Glasplatten hindurch . . 17

§ 6. Weitere Messungen 31

§ 1. Einleitung.

Zahlreiche Versuche sind angestellt worden, um den Einfluß des umgebenden Gases auf die Kontaktpotentialdifferenz zweier Metalle zu finden, doch stößt die Deutung ihrer Ergebnisse auf große Schwierigkeiten, weil die Gasschichten an der Oberfläche immer bei beiden Metallen gleichzeitig geändert wurden. Deshalb haben sich keine zwingende sondern vielfach sogar widersprechende Resultate ergeben. So fand Pellat[1]) nur geringen Einfluß des umgebenden Gases (auch bei Veränderung des Gasdruckes), während Beil[2]) starke Verschiedenheit zwischen dem Einflusse gewöhnlicher Luft und Kohlensäure, besonders in feuchtem Zustande, beobachtete. Ferner erhöht nach Beil das Trocknen dieser Gase das Kontaktpotential, während früher Brown[3]) nach Auskochen beider Metalle in Oel, Greinacher[4]) nach Erhitzen, Evakuieren und Trocknen mit Phosphorpentoxyd und neuerdings de Broglie[5]) nach Schmirgeln in trockenen Gasen verschwindend kleine Kontaktpotentialdifferenzen bei Metallen fand, die vorher in Luft merkliche Verschiedenheiten aufwiesen.

Es würde nun möglich sein, diese Verhältnisse schärfer zu untersuchen, wenn es gelänge, durch einen Isolator hindurch die Kontaktpotentialdifferenzen zu bestimmen, da dann die Versuche so eingerichtet werden könnten, daß nur bei einer der beiden Platten die Gasatmosphäre geändert würde. Natürlich stellen sich dem bedeutende Schwierigkeiten entgegen, da sich auf den festen Isolatoren leicht Ladungen ansammeln, die infolge der immer vorhandenen Oberflächenleitung dauernd, wenn auch in geringem Maße,

---

[1]) Pellat, Journ. d. Phys. 10, 1881, S. 68.

[2]) Beil, Ann. d. Phys., 1910, 31, S. 873.

[3]) Brown, Phil. Mag. 5. S. 591, 1903.

[4]) Greinacher, Ann. d. Phys., 1905, 16. S. 708.

[5]) de Broglie, Soc. Franç. Nr. 13, S. 5—6, 1911; Comptes Rendus 152, S. 696—698, 1911.

Aenderungen erleiden. Vorliegende Untersuchung, die auf Anregung des Herrn Prof. Hallwachs im physikalischen Institute der Technischen Hochschule zu Dresden angestellt wurde, hatte das Ziel, eine Methode zu finden, die nach möglichster Verminderung dieser Ladungen und ihrer Veränderlichkeit den Einfluß des Restes der Ladung eliminieren ließe. Vorauszusehen war, daß bei den vorhandenen Schwierigkeiten die Genauigkeit nicht sehr weit zu treiben sein würde. Indes bot sich auch so die Aussicht, wenigstens eindeutige Schlüsse über den Einfluß der Gasatmosphäre und dergl. zu erhalten, und schließlich gelang es auch, die Fehler bis auf wenige hundertstel Volt herabzudrücken.

§ 2. Die Meßmethode.

Den folgenden Versuchen wurde die Pellatsche Kompensationsmethode [1]) zugrunde gelegt.

Von der Apparatur ist das Elektrometer [2]) aus der Anordnung des Herrn Beil und der Kompensationsapparat aus der des Herrn Hallwachs übernommen worden. Die Leitung zwischen dem Elektrometer und der ersten Platte war über Schellackstützen in quadratischem Messingrohr (6,5 cm Breite) geführt. Es wurde bei Quadrantschaltung die Einstellung aus 3 Umkehrpunkten ermittelt. Die Potentialdifferenzen sind bei der angegebenen Empfindlichkeit bis auf hundertstel Volt sicher. Als positiv ist stets die Differenz des Potentiales der beweglichen Platte 2 vermindert um das der (mit dem Elektrometer verbundenen) Platte 1 gerechnet.

---

[1]) W. Hallwachs, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 58 (1906) S. 349; Ann. d. Phys., 23, (1907), S. 468. — Beil, Ann. d. Phys., 31 (1910) S. 850.

[2]) Die Schellackunterlage der Zylinderquadranten wurde durch Bernsteinstützen ersetzt und der ganze Innenraum durch Natrium getrocknet. Bei 40 Volt Nadelspannung und 280 cm Skalenabstand war die abs. Empfindlichkeit 1600—3000 mm/Volt je nach dem benutzten Aufhängedraht. Die Kapazität betrug etwa 30 cm. — Weitere Einzelheiten s. Beil, l. c. S. 852.

§ 3. Verminderung der Ladung und der Veränderlichkeit des Ladungsrestes.

Um zu möglichst einfachen Verhältnissen zu gelangen, bei denen die Veränderlichkeit auf die Isolatorschicht beschränkt bliebe, wurden zuerst kreisförmige ebene Platten mit viele Monate alten erfahrungsmäßig wenig veränderlichen Oberflächen benutzt (Messing, Zink, Blei, Eisen). Zwischen beiden Metallplatten lag eine Glasplatte von ca. 1 mm Dicke, da Glas als das technisch vorteilhafteste Material hauptsächlich in Frage kam.

Zunächst mußte nun versucht werden, die Ladungen auf der Glasplatte soviel als möglich zu beseitigen. Da es sich aber als unmöglich zeigte, sie praktisch auf Null zu bringen, war zu untersuchen, wie und wie weit sich der Rest konstant erhalten ließe.

a) **Oberflächenleitung.** Jede frisch gereinigte Glasplatte besitzt beträchtliche elektrische Ladungen, die sich je nach der Leitfähigkeit der Oberfläche schneller oder langsamer verändern. Große Leitfähigkeit kann sehr störend wirken; die Dämpfung des Elektrometers scheint plötzlich bedeutend vergrößert zu sein, die Mittel aus je 3 Umkehrpunkten verschieben sich bei Benutzung späterer Umkehrpunkte derselben Schwingungsfolge stark nach der Nullstellung zu, und nach plötzlicher Aenderung des Hilfspotentiales *H* an Platte 2 und nachfolgendem Isolieren von Platte 1 zeigt sich Wandern des Elektrometers, alles Zeichen, daß der elektrische Ladungszustand der Glasplatte sich unter dem veränderten Felde ändert. Doch konnten alle diese störenden Erscheinungen durch Auftragen einer dünnen Schellackschicht auf beide Seiten des Glases beseitigt werden.

b) **Ladungsverminderung.** Wird nun die frisch gereinigte bezw. schellackierte Glasplatte in den Kompensationsapparat eingelegt, wo sie mit etwa 1 mm Luftabstand zwischen Platte 1 und der gesenkten Platte 2 ruht, so zeigt das Elektrometer nach Isolieren Wandern, weil der Ladungszustand der Platte sich noch stark ändert. Wenn dies fast

verschwunden ist, so zeigt sich auch bei kleiner Potentialdifferenz beider Metallplatten, die nötigenfalls durch ein angelegtes Hilfspotential hergestellt worden war, ein unbrauchbar großer Ausschlag beim Hochziehen der Platte 2, der erst nach mehreren Tagen auf eine brauchbare Größe sinkt, falls man die Glasplatte im Kompensationsapparate sich selbst überläßt.

Da dies bei mittlerem Abstande (30 mm) der Platte 2 von der Glasplatte schneller vor sich ging als bei großem (50 mm) oder ganz kleinem (1 mm), so lag die Vermutung nahe, daß durch das Feld bewegte Ionen die Entladung besorgten. Bei großem Abstande war das Feld zu schwach, bei kleinem waren zu wenig Ionen vorhanden und neue konnten nur schwer in die schmale Luftschicht nachdiffundieren, um ebenso schnell wie im ersten Falle die Platte zu entladen. So wurde nun versucht, durch künstliche Vermehrung der Ionen rings um die Glasplatte die Entladung derselben zu beschleunigen. Ein kleiner, später mit $Ca(NO_3)_2$ bestrichener Platindraht, der glühend in etwa 1 mm Abstand langsam über die Glasoberfläche geführt wurde, hatte nur geringe Wirkung. Umspülen mit etwas abgekühlten Flammengasen gab erst nach 10- bis 20stündiger Einwirkung gute Entladung der Platten. Alle diese Mittel hatten das Unangenehme, daß sie nicht im Kompensationsapparate selbst angewendet werden konnten, sodaß die Glasplatten auf dem Transporte dahin durch Luftreibung neue Ladungen aufnahmen.

Die besten Erfolge gab ein mittelstarkes Poloniumpräparat, das in 2—2,5 cm Entfernung über der zu entladenden Glasplatte geerdet befestigt wurde. Dabei waren beide Metallplatten geerdet, Platte 2 befand sich 30—35 mm über der bestrahlten Glasplatte. So war es meist möglich, schon 2—$2^1/_2$ Stunden nach dem Einlegen einer Glasplatte von 1 mm Dicke Messungen auszuführen. Eine vollständige Entladung der Glasplatten erforderte allerdings auch so noch unverhältnismäßig lange Zeit (ungefähr 2 Tage bei Platten von

1 mm Dicke, bis zu 4 Tagen bei solchen von 4 mm Dicke). Nach Wegnehmen des Poloniumpräparates zeigten sich übrigens meistens kleine Ladungsstörungen und merkliche Veränderungen der Störungsladung. Beides verschwand nach etwa 10 Minuten, indem man die Platte sich selbst überließ. Dann erst wurde mit den Messungen begonnen.

c) **Konstanterhaltung der Restladung.** War in der geschilderten Weise die Ladung der Platte bis auf einen kleinen Rest beseitigt, so zeigte sich der erhaltene Zustand als ziemlich empfindlich gegen mechanische und elektrostatische Einflüsse.

Von den ersteren waren es besonders die Luftströmungen, die die Ladung veränderten, während Reibung der Glasplatte auf den 3 tragenden Messingspitzen wenig Einfluß hatte. Deshalb wurde bald das aus massivem Messing und Drahtnetz erbaute Gehäuse des Aufziehkondensators mit einer ihn völlig umschließenden geerdeten Hülle aus Weißblech umgeben, worauf die Unregelmäßigkeiten sich in einen stetigen Gang umwandelten. Diese stets im selben Sinne erfolgende Aenderung der Ladung auf der Glasplatte rührte hauptsächlich von dem etwas ruckhaften Emporheben der Platte 2 her, wie Versuche mit mehrmaligem plötzlichen Abheben und ruckhaftem Niederlassen zeigten. Deshalb verließ man die Bewegung von Hand aus und verband ein Triebwerk so mit Platte 2, daß sich dieselbe auf Schnurauslösung vom Beobachtungsplatze aus in etwa 12 Sekunden um 53 mm hob bezw. senkte, zu Anfang des Anhebens bezw. gegen Ende des Senkens durch selbsttätige Bremsung sich langsamer bewegte und in der betreffenden Endstellung stehen blieb.

Die elektrostatischen Störungen traten besonders bei größeren Potentialdifferenzen der Platten 1 und 2 auf. Es zeigte sich nämlich, daß schon durch minutenlange Einwirkung elektrischer Felder sich der Störungswert p (d. h. der Einfluß der Ladung au das Ergebnis, s. § 4) änderte. Es ist also notwendig[f] zur Konstanterhaltung des Ladungsrestes auf der Glas-

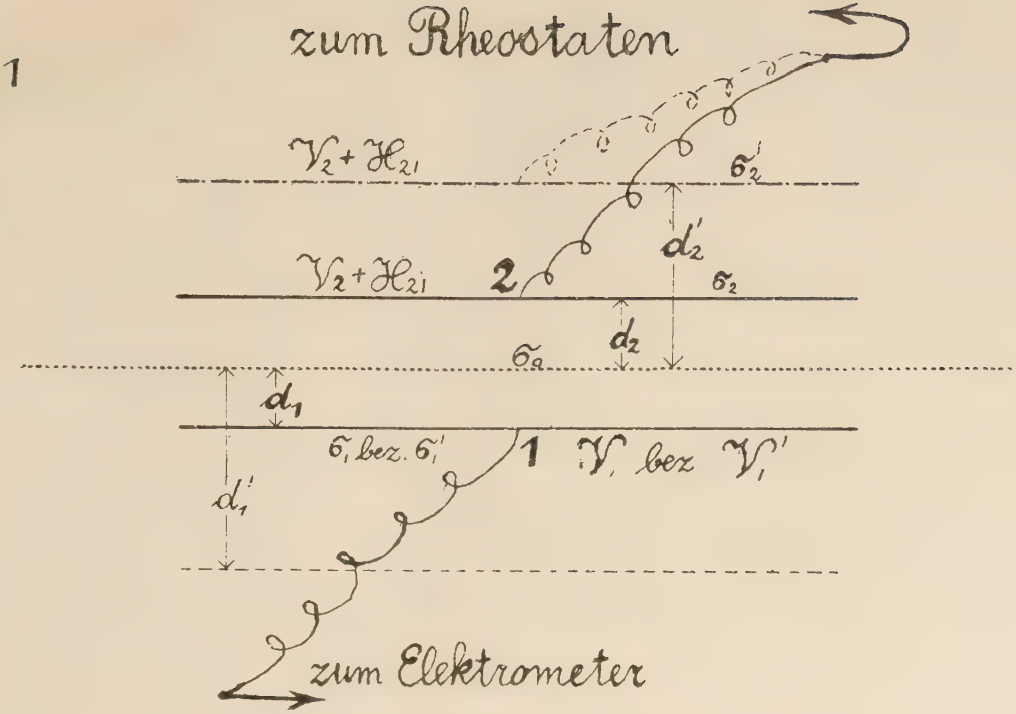
platte diese nur schwachen Feldern und auch diesen nur möglichst kurze Zeit auszusetzen. Deshalb wurde bei größerer Kontaktpotentialdifferenz der beiden Metallplatten an die bewegliche Platte 2 stets ein Hilfspotential H_{21} so angelegt, daß die Potentialdifferenz der einander zugewandten Plattenseiten nahe Null war. Das andere zur Messung nötige Hilfspotential H_{22} wurde so gewählt, daß der entstehende Ausschlag a_2 entgegengesetztes Vorzeichen wie a_1 (d. i. der bei H_{21} entstandene Ausschlag) hatte und auch nur 0,1—0,2 Volt entsprach. Sofort nach Beendigung dieser zweiten Messung wurde H_{21} wieder an Platte 2 angelegt, sodaß also die Glasplatte nur unter der Einwirkung derselben schwachen Felder blieb. Um auch die Zeit der Einwirkung abzukürzen, wurde Platte 2 erst kurz (etwa 1 Sekunde) vor der folgenden Messung niedergelassen. Bei derartig sorgfältigem Arbeiten änderte sich der Störungswert p nur wenig, z. B. innerhalb einer Stunde bei 30 Aufzügen von + 0,067 bis + 0,094 Volt (s. Tab. 4). Jede Einzelbeobachtung (Niederlassen von Platte 2, Aufheben des Erdschlüssels, Aufziehenlassen, Beobachten dreier Umkehrpunkte, Erden und Beruhigenlassen der Schwingungen der Elektrometernadel) beanspruchten nicht über 2 Minuten.

§ 4. Theoretische Betrachtungen über den Einfluß von Ladungen im Dielektrikum.

Da es sich nicht erreichen ließ, eine Glasplatte völlig ladungsfrei zu machen, und da die Restladung nicht dauernd unter einem (wenn auch kleinen) Betrage gehalten werden konnte, ging man darauf aus, den Einfluß von Ladungen auf die Messungsergebnisse durch ein geeignetes Beoabachtungsverfahren zu eliminieren.

Zu diesem Zwecke sei zuerst untersucht, welches Resultat die zugrunde gelegte Kondensatormethode ergibt, wenn sich unbeweglich zwischen der festen und der beweglichen Platte ein sehr dünnes gleichmäßig geladenes festes Dielektrikum z. B. eine Glasplatte befindet.

Fig. 1


zum Rheostaten
$V_2 + H_{21}$
σ_2'
d_2'
$V_2 + H_{21}$
2
σ_2
d_2
σ_2
d_1
σ_1 bez. σ_1'
1
V_1 bez V_1'
d_1'
zum Elektrometer

Da bei Berücksichtigung der isolierenden geladenen Platte deren Dicke noch durch die hohe Dielektrizitätskonstante der Platte zu dividieren wäre, so wollen wir sie für unsere Rechnungen zunächst gleich Null annehmen. Die Flächendichte ihrer Ladung sei σ_0.

Die beiden Metallplatten und die dazwischen befindliche Glasplatte seien so groß gegen ihre Abstände von einander, daß von den sog. Randwirkungen abgesehen werden kann. Die Oberfläche der Kondensatorplatte 1 (s. Fig. 1) befindet sich bei Kontakt mit dem Erdungspunkte auf dem Potentiale V_1, die der Platte 2 bei Kontakt mit dem gleichen Erdungspunkte auf dem Potentiale V_2, $(V_2 - V_1)$ ist also die Kontaktpotentialdifferenz beider Plattenoberflächen. Zu dem Potentiale V_2 sei noch durch Zwischenschaltung das Hilfspotential H_{21} zugeschaltet, Platte 2 befindet sich also auf dem Potentiale $(V_2 + H_{21})$. Die Flächendichte auf Platte 1 betrage σ_1, auf Platte 2 σ_2.

Für die Nahestellung der Platte 1 mit dem Potentiale V_1 und 2 mit dem Potentiale $V_2 + H_{21}$ möge σ_0 das Potential V_0 besitzen. Es ist dann

$$4\,\pi\,\sigma_1 = \frac{V_1 - V_0}{d_1} \tag{1}$$

und

$$4\,\pi\,\sigma_2 = \frac{(V_2 + H_{21}) - V_0}{d_2}$$

Ferner ist

$$\sigma_1 + \sigma_0 + \sigma_2 = 0$$

Hieraus folgt durch Elimination von σ_1 und σ_2

$$V_0 = \frac{4\,\pi\,\sigma_0\,d_1\,d_2 + V_1\,d_2 + (V_2 + H_{21})\,d_1}{d_1 \quad d_2} \tag{2}$$

Wird nun die mit dem Elektrometer verbundene Platte 1 isoliert und Platte 2 auf den Abstand d_2' entfernt (strichpunktierte Lage in der Figur) wobei dauernd das Hilfspotential H_{21} angeschaltet bleibt, so nimmt die Störungsladung σ_0 ein anderes Potential V_0' an, und auch auf Platte 1 tritt ein anderes Potential V_1' auf, wobei ein Teil der Ladung ins Elektrometer strömt.

Heißen die neuen Flächendichten σ_1' auf Platte 1 und σ_2' auf Platte 2, so gilt

$$4\,\pi\,\sigma_1' = \frac{V_1' - V_0'}{d_1} \tag{3}$$

und

$$4\,\pi\,\sigma_2' = \frac{(V_2 + H_{21}) - V_0'}{d_2'}$$

Ferner ist

$$\sigma_1' + \sigma_0 + \sigma_2' = 0$$

Hieraus folgt durch Elimination von σ_1' und σ_2'

$$V_0' = \frac{4\,\pi\,\sigma_0\,d_1\,d_2' + V_1'\,d_2' + (V_2 + H_{21})\,d_1}{d_1 + d_2'} \tag{4}$$

Auf Platte 1 ist also beim Entfernen der Platte 2 für die Flächendichte σ_1 die Dichte σ_1' getreten. Ist O die Oberflächengröße der Platten, I die Kapazität des Elektrometers und der Leitung von Platte 1 zu ihm, so gilt

$$O\,(\sigma_1 - \sigma_1') = (V_1' - V_1)\,I \tag{5}$$

Außerdem ist der entstehende Ausschlag a_1 des Elektrometers

$$a_1 = \mathfrak{E}\,(V_1' - V_1) \tag{6}$$

wenn $\mathfrak{E}$ die absolute Empfindlichkeit des Elektrometers (in Skalenteilen für 1 Volt angelegte Potentialdifferenz der Quadranten) ist. Elimination von σ_1 σ_1' V_0 V_0' und V_1' aus den Gleichungen (1) bis (6) ergibt

$$a_1 \quad \frac{\mathfrak{E}\,O\,(d_2' - d_2)}{(d_1 + d_2)\,[4\,\pi\,I\,(d_1 + d_2') + O]}$$

$$\left\{\; 4\,\pi\,\sigma_0\,d_1 + V_1 - V_2 - H_{21} \;\right\}$$

Hierfür sei abgekürzt geschrieben

$$a_1 = A_1 \left\{\; 4\,\pi\,\sigma_0\,d_1 + V_1 - V_2 - H_{21} \;\right\} \tag{7a}$$

Ein analoger Versuch, bei dem nur das Hilfspotential H_{21} in H_{22} verändert worden ist, ergibt

$$a_2 = A_1 \left\{\; 4\,\pi\,\sigma_0\,d_1 + V_1 - V_2 - H_{22} \;\right\} \tag{7b}$$

Aus (7a) und (7b) folgt

$$(8) \qquad V_2 - V_1 = \frac{a_1 H_{22} - a_2 H_{21}}{a_2 - a_1} + 4 \pi \sigma_0 d_1$$

Der Abkürzung halber werden der Quotient $\frac{a_1 H_{22} - a_2 H_{21}}{a_2 - a_1}$ mit P_I bezeichnet und Ausgleichspotential genannt. Das Zusatzglied $4 \pi \sigma_0 d_1$ sei mit p_I bezeichnet und Störungswert genannt. Es enthält die Flächendichte σ_0 der wahren Ladung der dünnen isolierenden Zwischenschicht sowie deren Abstand d_1 von der Platte 1. Dann lautet (8)

$$I \qquad V_2 - V_1 = P_I + 4 \pi \sigma_0 d_1 = P_I + p_I$$

Hieraus wäre das Kontaktpotential $V_2 - V_1$ beider Metalloberflächen gegen einander bestimmt, wenn die Größe σ_0 gemessen werden könnte. Man kann nun σ_0 durch einen besonderen Versuch erhalten: Man entferne Platte 2 völlig, dann wird auf der Oberfläche O der geerdeten Platte 1 die Flächendichte $-\sigma_0$ sitzen. Jetzt isoliere man die Platte 1 und ziehe sie dann sehr weit von der Glasplatte ab. Die auf Platte 1 vorhandene Ladung $-\sigma_0 O$ wird sich nun über Platte 1, die Zuleitung zum Elektrometer und dieses selbst verteilt haben. Die Kapazität des Elektrometers zusammen mit der Zuleitung von Platte 1 zu ihm war mit Γ bezeichnet worden, die der Platte 1 ohne Umgebung genommen sei C, so gilt

$$-\sigma_0 O = (\Gamma + C) \frac{\beta}{\mathfrak{E}}$$

oder

$$\sigma_0 = \frac{\beta}{\mathfrak{E}} (\Gamma + C)$$

wenn β der beim Abziehen entstehende Ausschlag des Elektrometers, $\mathfrak{E}$ dessen absolute Voltempfindlichkeit bedeutet.

Da eine solche direkte Bestimmung von σ_0 vielleicht auf Schwierigkeiten [1]) führt, so kann man ver-

[1]) Im Innern von Gefäßen wird schwerlich Raum genug zu sehr weitem Abziehen der Platte 1 sein.

suchen, σ_0 mit Hilfe eines zweiten Versuches zu eliminieren. Einen derartigen Versuch erhält man, wenn man die (bisher bewegliche) Platte 2 unbewegt im Abstande d_2 läßt und die (bisher feste) Platte 1 aus dem Abstande d_1 auf einen Abstand [1]) d_1' entfernt. Analog zu dem Bisherigen seien zwei solche Versuche mit den Hilfspotentialen H_{21}' bezw. H_{22}' angestellt, die die Elektrometerausschläge a_1' bezw. a_2' ergeben. Durch entsprechende Rechnung findet man

(9a) $$a_1' = A_{II}\,(V_1 - V_2 - H_{21}' - 4\,\pi\,\sigma_0\,d_2)$$

sowie

(9b) $$a_2' = A_{II}\,(V_1 - V_2 - H_{22}' - 4\,\pi\,\sigma_0\,d_2)$$

woraus durch Elimination von A_{II} folgt

IIa $$V_2 - V_1 = \frac{a_1'\,H_{22}' - a_2'\,H_{21}'}{a_2' - a_1'} - 4\,\pi\,\sigma_0\,d_2$$

und in entsprechender Bezeichnung wie *I*

II $$V_2 - V_1 = P_{II} - 4\,\pi\,\sigma_0\,d_2 \qquad P_{II} = p_{II}$$

Aus *I* und *II* ergibt die Elimination von σ_0

III $$V_2 - V_1 = \frac{d_1\,P_{II} + d_2\,P_I}{d_1 + d_2}$$

wobei

$$P_I = \frac{a_1\,H_{22} - a_2\,H_{21}}{a_2 - a_1} \qquad P_{II} = \frac{a_1'\,H_{22}' - a_2'\,H_{21}'}{a_2' - a_1'}$$

sodaß in diesem Falle eines sehr dünnen gleichmäßig geladenen Dielektrikums (ebene Platte) die Kontaktpotentialdifferenz $V_2 - V_1$ der beiden Metalle durch lauter Größen ausgedrückt ist, die der direkten Messung (d_1 d_2 H_{21} H_{22} H_{21}' und H_{22}') bezw. Beobachtung (a_1 a_2 a_1' und a_2') zugänglich sind.

Eine wesentliche Vereinfachung ergibt sich für Formel *III* wenn man $d_1 = d_2$ macht. Dann gilt für das Kontaktpotential

IIIa $$V_2 - V_1 = {}^1/_2\,(P_I + P_{II})$$

[1]) d_1' muß natürlich wie früher d_2' klein gegen die Durchmesser der Platten sein, damit Randwirkungen nicht berücksichtigt zu werden brauchen.

Der Vollständigkeit halber sei noch angeführt, daß man die Flächendichte σ_0 der Störungsladung natürlich auch aus den Formeln *I* und *II* finden kann. Man erhält

$$\sigma_0 = \frac{P_{II} - P_I}{4\,\pi\,(d_1 + d_2)}$$

Neue Schwierigkeiten entstehen, wenn die Dicke des Dielektrikums im Verhältnisse zu seinen Luftabständen von den nahe gestellten Metallplatten beiderseits nicht verschwindend klein gemacht werden kann.

Nimmt man in diesem Falle nur die Luftabstände als d_1 bezw. d_2 in die Rechnung auf, so wäre die günstigste Möglichkeit, die Ladung der Glasplatte (jetzt Raumladung) verhielte sich wie auf einer mittleren Schicht sitzend, die ungünstigste dagegen, wenn die gesamte Ladung auf einer der beiden Oberflächen der isolierenden Platte säße. Der Unterschied in dem für beide Fälle zu errechnenden $V_2 - V_1$ beträgt, wie man aus Formel *I* bezw. *II* sieht, $4\,\pi\,\sigma_0 \frac{dg}{\varepsilon}$ wobei dg die Dicke der isolierenden Platte (z. B. Glas), ε deren Dielektrizitätskonstante ist. Im praktischen Beobachtungsfalle wird man diesen Unterschied, diese Unsicherheit direkt in Volt wissen wollen. Stellt man Formel *III* für die beiden Fälle auf, so erhält man im ersten Falle

$$V_2 - V_1 = \frac{P_I\,(d_2 + \frac{dg}{2\,\varepsilon}) + P_{II}\,(dg + \frac{dg}{2\,\varepsilon})}{d_1 + d_2 + \frac{dg}{\varepsilon}}$$

im zweiten Falle

$$V_2 - V_1 = \frac{P_I\,d_2 + P_{II}\,(d_1 + \frac{dg}{\varepsilon})}{d_1 + d_2 + \frac{dg}{\varepsilon}}$$

sodaß der Unterschied beider Näherungsrechnungen

$$(10) \qquad \frac{dg}{2\,\varepsilon\,(d_1 + d_2 + \frac{dg}{\varepsilon})}\,(P_I - P_{II})$$

beträgt. Um eine gewisse Anschauung von der Größe dieses Unterschiedes zu geben, sei der Faktor vor $(P_I - P_{II})$ für $\varepsilon = 6$ und unter der vereinfachenden Annahme, daß die Luftschichten d_1 und d_2 einander gleich $(= d)$ sind, berechnet. Er beträgt

für eine Dicke der Glasplatte $dg =$	bei einer Dicke der Luftschicht (beiderseits) von $d =$				
	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
0,50 mm	2,0 %	1,0 %	0,7 %	0,5 %	0,4 %
0,75 „	2,9 „	1,5 „	1,0 „	0,8 „	0,6 „
1,0 „	3,8 „	2,0 „	1,4 „	1,0 „	0,8 „
1,5 „	5,6 „	2,9 „	2,0 „	1,5 „	1,2 „
2,0 „	7,1 „	3,8 „	2,6 „	2,0 „	1,6 „

$(P_I - P_{II})$ selbst läßt sich mit einiger Sorgfalt d. h. wenn die Glasplatte gut entladen wurde und die Bewegungen der Platten 1 und 2 genügend stoßfrei vor sich gehen, die Glasplatte überhaupt vor Luftströmungen jeder Art geschützt ist, auf Bruchteile von einem Volt bringen.

§ 5. Experimentelle Prüfung der Meßbarkeit von Kontaktpotentialdifferenzen durch Glasplatten hindurch.

a) Konstanz d. Störungswertes und Unabhängigkeit desselben von der Grösse des Kontaktpotentiales.

Die Theorie zeigt, daß ein beliebiges Kontaktpotential durch eine Glasplatte hindurch auf mehrfache Weise meßbar ist, falls die Störungsladung des Glases unveränderlich bleibt. Im Nachfolgenden wird ausführlich experimentell geprüft, wie weit dies tatsächlich für Platten gilt, die in der in § 3 geschilderten Weise bis auf eine unvermeidliche Restladung entladen worden sind.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse einiger Versuche zusammengestellt, die einmal dartun sollen, inwieweit sich die Ladung der Zwischenplatte überhaupt konstant erhalten läßt, und zum andern, ob der Störungswert p eine von der Größe der Kontaktpotentialdifferenz der Platten 1 und 2 wirklich

unabhängige Größe besitzt, wie die Formel *I* und *II* angeben. Zu diesem Zwecke wurde nur der Störungswert p_I für mehrere alte Metalloberflächen bestimmt. Da hierzu nur die Platte 2 bewegt zu werden brauchte, Platte 1 jedoch fest blieb, konnte also auch der Luftabstand d_1 [1]) von der Glasplatte der allein in der Formel auftritt, sich nicht verändern. Zugleich fielen dadurch die Luftströmungen fort, die durch Bewegung der Platte 1 die Störungsladung hätten verändern können.

Als feste Platte 1 diente bei allen Versuchen eine Messingplatte mit sehr alter Oberfläche, deren Kontaktpotential erfahrungsgemäß sehr konstant war. Sie soll daher in folgendem als „Normal 1" bezeichnet werden. Als bewegliche Platte 2 diente die ebenfalls sehr konstante alte Messingplatte des Aufziehkondensators (sie sei im folgenden als „Normal 2" bezeichnet) bezw. Platten aus Zink, Blei, Kupfer oder Eisen vom selben Durchmesser wie Normal 2, die an dieses mittels dreier Krallen angehangen wurden.

Der Gang eines Versuches war nun folgender: Das Ausgleichspotential [2]) (s. § 4) wurde zuerst für Normal 2 gegen Normal 1 ohne Zwischenplatte bestimmt, hierauf die Glasplatte [3]) eingelegt, möglichst entladen und nach Entfernen des Poloniumpräparates eine Weile sich selbst überlassen. Diese Vorbereitungen dauerten etwa 2—6 Stunden.

Nun begann die eigentliche Versuchsreihe. Um die Störungswerte p_I zu finden, wurden durch je 2 Beobachtungen mit 2 geeigneten Hilfspotentialen II_{21} und II_{22} die Ausgleichspotentiale P_I für Normal 2, Zn, Pb, Cu und Fe gegen Normal 1 bestimmt.

[1]) Also konnte der Störungswert p_I nur noch von σ_0 abhängen und mußte dessen Veränderungen getreu anzeigen.

[2]) Ohne geladene Zwischenplatte ist das Ausgleichspotential gleich der Kontaktpotentialdifferenz.

[3]) Rechtecke 6×9 cm bez. Kreisplatten von 12 cm Durchmesser; die Dicke betrug 1,0—2 mm.

Um eine genauere Kontrolle des Ganges von p_I zu haben, wurde nach jedem solchen Beobachtungspaar eine Beobachtung mit dem zuverlässig konstanten Normal 2 gegen Normal 1 eingeschaltet und diese Gewohnheit beibehalten, nachdem sich im Laufe der Versuche auch die anderen verwendeten Metalle als recht konstant erwiesen hatten. Hatte sich das Ausgleichspotential des Normales 2 gegen Normal 1 von einer solchen Kontrollmessung zur folgenden um mehr als 0,010 Volt geändert, so wurde die dazwischen liegende Messung als ungenügend verworfen und wiederholt.

Nach Beendigung dieser Messungen wurde die Glasplatte entfernt und die Ausgleichspotentiale für Normal 2 und die anderen verwendeten Platten 2 gegen Normal 1 bestimmt. Dieser Wert, vermindert um das durchs Glas hindurch erhaltene Ausgleichspotential P_I desselben Metalles gibt den Störungswert p_I.

Es wurde eine große Anzahl von Versuchen (über 20 längere Reihen) ausgeführt, von denen die charakteristischsten in folgenden wiedergegeben sind.

Tabelle 1.

Später gemessene Kont.-Pot.-Differenz $V_2 - V_1$	Messungen durch die Glasplatte: Zeit	Metall	Ausgleichspotential V_1	Störungswert v_1
— 0,053	12h 17 Min.	Messing N2	— 0,041	— 0,012
— 0,053	19 „	N2	— 0,049	— 0,004
— 0,053	21 „	„	— 0,052	— 0,001
+ 0,182	23 & 25 „[1]	Zn	+ 0,178	+ 0,004
— 0,053	27 „	N2	— 0,066	+ 0,013
+ 0,386	29 & 31 „	Pb	+ 0,362	+ 0,024
— 0,053	33 „	N2	— 0,078	+ 0,025
— 0,092	35 & 37 „	Fe	— 0,102	+ 0,010
— 0,053	38 „	N2	— 0,087	+ 0,034
— 0,081	40 & 42 „	Cu	— 0,079	+ 0,002
— 0,053	44 „	N2	— 0,046	— 0,007[2]
— 0,081	45 & 47 „	Cu	— 0,101	+ 0,020
— 0,053	49 „	N2	— 0,097	+ 0,044
— 0,081	51 & 53 „	Cu	— 0,108	+ 0,027
— 0,053	54 „	N2	— 0,104	+ 0,051
— 0,053	56 „	„	— 0,111	+ 0,058
— 0,053	58 „	„	— 0,104	+ 0,051
— 0,053	59 „	„	— 0,083	+ 0,030
— 0,053	1h 1 „	„	— 0,102	+ 0,049

1h 6—22 Min. Tag der Messung: 8. 2. 1911.

Hierbei war

die Dicke der Glasplatte: 1,0 mm

ihr Abstand von Normal 1: 0,5 mm

„ „ „ „ 2

in Nahestellung: 1,8 mm,

H_{11} und H_{12} betrugen + 0,224 Volt.

Messing — N2 war vorher zu — 0,048 Volt, nach der Messungsreihe zu — 0,058 Volt bestimmt worden, Mittel also — 0,053 Volt.

[1]) Messungspaar (mit 2 verschiedenen Hilfspotentialen).

[2]) Wahrscheinlich durch unachtsames Niederlassen der Platte 2 entstanden.

Da bei diesem Versuche die Glasplatte dünn war, ließ sie sich verhältnismäßig leicht entladen und auch der Störungswert bleibt in Tabelle 1 niedrig.

Tabelle 2 zeigt Uebereinstimmung der Störungswerte bei einer etwas dickeren Glasplatte (1,4 mm).

Tabelle 2.

Später gemessene Kont.-Pot.-Differenz $V_2 - V_1$	Messungen durch die Glasplatte			
	Zeit	Metall	Ausgleichspotential P_1	Störungswert p_1
— 0,069	12h 33 Min.	N2	— 0,034	— 0,035
+ 0,150	35 & 36 „	Zn I	+ 0,180	— 0,030
— 0,069	38 „	N2	— 0,051	— 0,018
+ 0,150	40 & 42 „	Zn I	+ 0,176	— 0,026
— 0,069	44 „	N2	— 0,053	— 0,016
+ 0,397	48 & 50 „	Pb	+ 0,418	— 0,021
— 0,069	52 „	N2	— 0,058	— 0,011
+ 0,397	54 & 56 „	Pb	+ 0,407	— 0,010
0,069	57 „	N2	— 0,064	— 0,005
— 0,069	1h 4 „	„	— 0,077	+ 0,008
— 0,069	10 „	„	— 0,082	+ 0,013
— 0,069	18 „	„	— 0,090	+ 0,021
— 0,128	23 & 25 „	Cu	— 0,145	+ 0,017
— 0,069	27 „	N2	— 0,096	+ 0,027
+ 0,605	31 & 33 „	Zn II	+ 0,572	+ 0,033
— 0,069	34 „	N2	— 0,090	+ 0,021
+ 0,605	37 & 39 „	Zn II	+ 0,592	+ 0,013
— 0,069	41—57 „	N2	— 0,087	+ 0,018

2h 5—3h 18 Min. Tag der Messung: 14. 2. 1911.

Hierbei war
die Dicke der Glasplatte: 1,5 mm
ihr Abstand von Normal 1: 0,5 mm
„ „ „ „ 2
in Nahestellung: 1,3 mm.

Die hierzwischen liegenden Versuche mit Fe zeigten nur, daß zwischen der Eisenplatte und dem sie tragenden Normal 2 kein metallischer Kontakt bestand, und auch später nach Reinigen der Krallen war dieser nur schlecht zu erreichen (auch die direkte Kontaktpotentialbestimmung gab schwankende Werte).

Der in dieser Tabelle auftretende negative kleine Störungswert ging bald in einen positiven über[1]. Auch bei stärkeren negativen Störungswerten bleibt ihre Uebereinstimmung gewahrt, wie folgende Tabelle 3 zeigt.

[1]) Wegen geringen Gefäßeinflusses durch den geschlossenen Kompensationsapparat und die zeitweise nahestehende Glasplatte wurden die betr. Metalle etwas positiver. Nimmt man nun noch an, das Glas verliere unter demselben Einfluße auch ein negativ geladenes Agens (vielleicht Wasserstoffsuperoxyd; s. Beil l. c. S. 869, wo auch weitere Literatur zu finden ist), so ist das stete Positiverwerden von p_I erklärt.

Tabelle 3.

Später gemessene Kont.-Pot.-Differenz $V_2 - V_1$	Messungen durch die Glasplatte: Zeit	Metall	Ausgleichspotential P_1	Störungswert p_1
— 0,066	9h 45-58 Min.	N2	+ 0,037	— 0,103
+ 0,366	10h 0 & 2 „	Zn I	+ 0,468	— 0,102
— 0,066	3 „	N2	+ 0,031	— 0,097
+ 0,366	5 & 6 „	Zn I	+ 0,467	— 0,101
— 0,066	8 „	N2	+ 0,031	— 0,097
+ 0,423	10 & 11 „	Pb	+ 0,520	— 0,097
— 0,066	13 „	N2	+ 0,030	— 0,096
+ 0,423	14 & 16 „	Pb	+ 0,519	— 0,096
— 0,066	17 „	N2	+ 0,027	— 0,093
— 0,070	19 & 21 „	Cu	+ 0,020	— 0,090
0,066	23 „	N2	+ 0,026	— 0,092
— 0,070	25 & 27 „	Cu	+ 0,020	— 0,092
— 0,066	28 „	N2	+ 0,020	— 0,086
+ 0,750	30 & 32 „	Zn II	+ 0,837	— 0,087
— 0,066	34 „	N2	+ 0,023	— 0,089
+ 0,750	35 & 37 „	Zn II	+ 0,842	— 0,092
— 0,066	38 „	N2	+ 0,023	— 0,089
— 0,188	40 & 42 „	Fe	— 0,105	— 0,083
— 0,066	44 „	N2	+ 0,018	— 0,084
— 0,188	46 & 47 „	Fe	— 0,102	— 0,086
— 0,066	49 „	N2	+ 0,019	— 0,085

10h 52—11h 35 Min. Tag der Messung: 1. 5. 1911.

Hierbei war
die Dicke der Glasplatte: 1,5 mm
ihr Abstand von Normal 1: 0,50 mm
„ „ „ „ 2
in Nahestellung: 1,3 mm

Daß die Uebereinstimmung der Störungswerte sich bei Benutzung dickerer (2,0 mm) Glasplatten nicht verschlechtert, zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4.

Später gemessene Kont.-Pot.-Differenz $V_2 - V_1$	Messungen durch die Glasplatte			
	Zeit	Metall	Ausgleichspotential P_I	Störungswert p_I
— 0,070	9h 7 Min.	N2	— 0,137	+ 0,067
+ 0,176	10 & 12 „	Zn I	+ 0,105	+ 0,071
— 0,070	14 „	N2	— 0,141	+ 0,071
+ 0,176	16 & 17 „	Zn I	+ 0,099	+ 0,077
— 0,070	19 „	N2	— 0,147	+ 0,077
+ 0,393	21 & 22 „	Pb	+ 0,314	+ 0,079
— 0,070	24 „	N2	— 0,151	+ 0,081
+ 0,393	25 & 27 „	Pb	+ 0,312	+ 0,081
— 0,070	30 „	N2	— 0,157	+ 0,087
— 0,092	33 & 34 „	Cu	— 0,181	+ 0,089
— 0,070	36 „	N2	— 0,157	+ 0,087
— 0,092	38 & 40 „	Cu	— 0,180	+ 0,088
— 0,070	42 „	N2	— 0,154	+ 0,084
+ 0,626	43 & 45 „	Zn II	+ 0,539	+ 0,087
— 0,070	48 „	N2	— 0,152	+ 0,082
+ 0,626	50 & 52 „	Zn II	+ 0,543	+ 0,083
— 0,070	53 „	N2	— 0,155	+ 0,085
— 0,128	55 & 57 „	Fe	— 0,220	+ 0,092
— 0,070	58 „	N2	— 0,156	+ 0,086
— 0,128	10h 0 & 2 „	Fe	— 0,222	+ 0,094
— 0,070	4, 6, 7 & 8 „	N2	— 0,163	+ 0,093

10h 31—11h 21 gemessen. Tag der Messung: 20. 2. 1911.

Hierbei war
die Dicke der Glasplatte: 2,0 mm
ihr Abstand von Normal 1: 0,5 mm
„ „ „ „ 2
in Nahestellung: 0,8 mm

Bis zu welcher Höhe die Störungswerte ansteigen können, ohne daß ihre Uebereinstimmung wesentlich gestört wird, möge schließlich Tabelle 5 zeigen.

Vor nachstehender Messungsreihe wurde beobachtet Messing = — 0,059 Volt, Zink (Zn) = + 0,210 Volt, nachher Messing = — 0,052 Volt, Zink = + 0,202 Volt, die Mittel sind Messing = — 0,056 Volt, Zink = + 0,206 Volt und geben, um das Ausgleichspotential vermindert, den Störungswert in folgender Tabelle.

Tabelle 5.

Zeit Datum	Std.	Min.	Metall-Platte 2	Ausgleichspotential P_I	Störungswert p_I
31. 1. 1911.	5h	19 Min.	Messing N2	— 0,160	— 0,104
	21 & 23	„	Zn	+ 0,091	+ 0,114
	25 & 27	„	Messing	— 0,184	+ 0,128
	30 & 33	„	Zn	+ 0,087	+ 0,119
1. 2. 1911.	9h	42 & 44 „	Zn	+ 0,035	— 0,171
	46 & 48	„	Messing	— 0,250	+ 0,194
	50 & 52	„	Zn	+ 0,029	+ 0,177
	54 & 56	„	Messing	— 0,249	+ 0,193
1. 2. 1911.	5h	53 & 55 „	Zn	+ 0,024	+ 0,182
	57 & 59	„	Messing	— 0,258	+ 0,202
	6h	1 & 3 „	Zn	— 0,016	+ 0,190
	5 &	7 „	Messing	— 0,261	+ 0,205
2. 2. 1911.	10h	32 & 34 „	Messing	+ 0,062	— 0,118 [1]
	36 & 37	„	Zn	+ 0,332	— 0,126
	39 & 41	„	Messing	+ 0,054	— 0,110
	43 & 44	„	Zn	+ 0,321	— 0,115
	48 & 49	„	Messing	+ 0,055	— 0,111
	51 & 53	„	Zn	+ 0,285	— 0,079
	12h	44 & 46 „	Messing	— 0,162	+ 0,106 [2]
	48 & 50	„	Zn	+ 0,104	+ 0,102
	51	„	Messing	— 0,168	+ 0,112

[1] Ueber Nacht mit Polonium bestrahlt und — 2 Volt an Platte 2 gelegt.

[2] Ohne Hilfspotential stehen gelassen.

Fortsetzung Tabelle 5.

Datum	Zeit Std.	Min.	Metall-Platte 2	Ausgleichspotential P_I	Störungswert p_I
3. 2. 1911.	10h 32 & 34	Min.	Messing	— 0,196	+ 0,140
	39 & 41	„	Zn	+ 0,055	+ 0,151
	43 & 45	„	Messing	— 0,205	+ 0,149
	47 & 49	„	Zn	+ 0,062	+ 0,144
	50 & 52	„	Messing	— 0,205	+ 0,149
	54 & 56	„	Zn	+ 0,056	+ 0,150

Hierbei war
die Dicke der Glasplatte: 1,4 mm
ihr Abstand von Normal 1: 0,5 mm
„ „ „ „ 2
in Nahestellung: 1,4 mm

p_I ist in dieser Tabelle fast durchweg für Zn etwas negativer wie für Messing; durch Gefäßeinfluß vom geschlossenen Apparate und von der gegenüberstehenden Glasplatte wurde Zn etwas positiver.

Aus diesen Tabellen geht hervor, daß 1. die durch die Ladung der Zwischenplatte veranlaßten Störungswerte p_I (= Fehlbeträge der Potentialmessung gegen das wirkliche Kontaktpotential der beiden Messingplatten) tatsächlich annähernd unabhängig von deren Kontaktpotentialdifferenz sind, wodurch also die Beziehung *I* (und analog also auch *II* sowie *III*) als anwendbar erwiesen ist, 2. man es erreichen kann, daß die Störungsladung σ_0 0 und damit der Störungswert p_I nur sehr langsam sich verändert, sodaß man ihn also für mehrere sich folgende Messungen, wie sie zur Verwirklichung von Formel *III* nötig sind, als konstant annehmen bezw. durch einen Mittelwert aus vorher und nachher gemessenen Werten ersetzen kann.

b) Messung eines Kontaktpotentiales durch eine Glasplatte hindurch.

Nachdem durch die soeben angeführten Versuche festgestellt war, daß sich der Ladungszustand der Glasplatte ausreichend konstant für Messungen nach Formel *I* erhalten läßt, wurde auch die Platte 1 beweglich gemacht, um nach der Hauptformel *III* messen zu können. Denn erst durch die Formel *III* wird das eigentliche Ziel der Untersuchung erreicht, das Kontaktpotential eines jenseits einer Glasplatte befindlichen Metalles gegen ein diesseits immer unter den gleichen Umständen bleibendes Normal zu bestimmen. Jenseits der Glasplatte wird man dann die Gasatmosphäre um das zu untersuchende Metall allein beliebig ändern können.

Bei den folgenden Versuchen wurde jedoch, um nur die Methode zu prüfen, beiderseits der Glasplatte dasselbe Gas (Luft) und derselbe Druck (Atmosphärendruck) gewählt. Die Reihenfolge der Beobachtungen wurde so gewählt, daß der zuerst erzeugte Ausschlag (z. B. α_1') nach jedem der anderen drei wieder hervorgebracht wurde, sodaß aus seiner Veränderung der Gang des Ladungszustandes der Glasplatte ersichtlich war und die anderen Ausschläge entsprechend korrigiert werden konnten [1]). Jedes weitere Beobachtungspaar, das an diese 7 notwendigen Messungen angeschlossen wurde [2]), ergab eine andere vollständige Versuchsreihe und damit einen neuen Wert für das gesuchte Kontaktpotential. Die jeweils benutzten 7 Werte wurden auf die Zeit des vierten korrigiert. Eine ausführliche Darstellung einer kurzen Meßreihe möge das eben Gesagte deutlicher machen.

Eine ältere [3]) Messingplatte 1 von 7,5 cm Durchmesser wurde der mehrere Jahre alten Messingplatte 2

---

[1]) Zu beachten ist dabei, daß die Ausschläge α_1' und α_2' in entgegengesetztem Sinne wie α_1 und α_2 zu korrigieren sind. Dies ergibt sich bei Vergleichung der Formel (7a) und (9a), am einfachsten für den Fall $V_1 - V_2 - H_{21} = O$.

[2]) Immer in derselben Reihenfolge z. B. $\alpha_1'\ \alpha_2'\ \alpha_1'\ \alpha_1\ \alpha_1'\ \alpha_2\ \alpha_1'\ \alpha_2'\ \alpha_1'\ \alpha_1\ \alpha_1'$ u. s. f.

[3]) Ebenes Messingblech mit jahrealter Oberfläche für Platte 1 konnte leider nicht gefunden werden. Da das verwendete Blech etwas über einen Monat alt war, so war mit einer Veränderlichkeit durch dauernden Gefäßeinfluß bis etwa 0,015 Volt während der Dauer des Versuches zu rechnen.

des Pellatschen Kompensationsapparates gegenüber beweglich angebracht und die Kontaktpotentialdifferenz beider Oberflächen durch eine Glasplatte von 1,6 mm Dicke hindurch gemessen. Es ergab sich:

Zeit	Bewegte Platte	Hilfspotential an Platte 2	Ausschlag des Elektrometers
7h 23 Min.	Platte 1	H = + O Volt	= — 7,9 mm
24 „	„ 1	H = + 0,078 „	= + 6,0 „
26 „	„ 1	H = + O „	= — 11,5 „
27 „	„ 2	H = + O „	= + 9,4 „
28 „	„ 1	H = — O „	= — 11,3 „
29 „	„ 2	H = — 0,078 „	= — 7,2 „
31 „	„ 1	H = + O „	= — 11,1 „
32 „	„ 1	H = + 0,078 „	= + 5,5 „
33 „	„ 1	H = + O „	= — 11,2 „

Aus den ersten 7 Beobachtungen ergeben sich, nachdem die Ausschläge auf 7 Uhr 27 Min. korrigiert sind ($a_1 = + 9{,}4$, $a_2 = - 7{,}0$, $a_1' = - 11{,}4$, $a_2' = + 4{,}3$) nach Formel *I* und *II* $P_I = - 0{,}045$ Volt und $P_{II} = + 0{,}057$ Volt. Da zur Vereinfachung der Rechnung die Luftschichten einander gleich gemacht worden waren und also die einfachere Formel *IIIa* benutzt werden konnte, so wird die Kontaktpotentialdifferenz $V_2 - V_1 = + 0{,}006 + 0{,}005$ Volt. Die Unsicherheit $\pm 0{,}005$ Volt ergibt sich aus (10), da $d_1 = d_2 = 1{,}3$ mm, $dg = 1{,}6$ mm war, als 4,7 % von $(P_{II} - P_I)$.

Die nächsten 7 Beobachtungen (d. h. die 3. bis mit 9.) liefern entsprechend $a_1 = + 9{,}3$, $a_2 = - 7{,}2$ $a_1' = - 11{,}2$ $a_2' = + 5{,}4$ für 7h 29 Min. $P_I = - 0{,}044$ Volt, $P_{II} + 0{,}053$ Volt, also $V_2 - V_1 = + 0{,}005 + 0{,}005$ Volt.

Das Kontaktpotential war außerdem aus je 5 Messungen unmittelbar vor dem Einschieben der Glas-

platte und nach ihrem Entfernen [1]) übereinstimmend zu — 0,013 Volt gefunden worden. Da der Gefäßeinfluß auf die benutzte Messingplatte 1 bei den verwendeten Luftabständen von 1,3 mm von der Glasplatte wenig über ein hundertstel Volt [2]) betragen dürfte, so muß die verbleibende Abweichung von etwa 0,005 Volt von Ungleichheit der Luftabstände herrühren. Nimmt man einen Unterschied von 0,02 mm an [3]), was ohne genauere Messung bei diesen nie ganz ebenen Oberflächen (schellackiertes Glas) leicht möglich ist, so ergibt sich auch eine Veränderung des errechneten Wertes um 0,004 Volt.

Nachstehende Ergebnisse zweier anderer Reihen mögen die Uebereinstimmung mehrerer so errechneter Werte derselben Reihe zeigen:

P_I	+ 0,034	+ 0,036	+ 0,033	+ 0,027	+ 0,028	+ 0,025
P_{II}	— 0,037	— 0,039	— 0,034	— 0,039	— 0,040	— 0,039
$V_2 - V_1$	— 0,002	— 0,002	— 0,001	— 0,006	— 0,006	— 0,007
	± 0,003	± 0,004	± 0,003	± 0,003	± 0,003	± 0,003

Volt

3 Minuten danach wurde ohne Glas bestimmt — 0,013 Volt.

P_I	+ 0,029	+ 0,033	+ 0,038	+ 0,041	+ 0,041
P_{II}	— 0,014	— 0,017	— 0,022	— 0,023	— 0,027
$V_2 - V_1$	± 0,008	± 0,008	± 0,008	± 0,009	± 0,007
	± 0,002	± 0,002	± 0,003	± 0,003	± 0,003

P_I	+ 0,046	+ 0,050	+ 0,053	+ 0,055
P_{II}	— 0,031	— 0,036	— 0,039	— 0,038
$V_2 - V_1$	+ 0,008	+ 0,007	+ 0,007	+ 0,009
	± 0,004	± 0,004	± 0,004	± 0,004

Volt

75 Minuten vorher wurde — 0,013 Volt, 3 Minuten nachher — 0,008 Volt ohne Glas bestimmt.

[1]) d. h. 20 Minuten vor der ersten bezw. 3 Minuten nach der letzten Messung durch die Glasplatte hindurch.

[2]) Durch besondere Messungen (ähnlich § 6a) bestätigt.

[3]) z. B. $d_1 = 1{,}2$ mm, $d_2 = 1{,}4$ mm. Nachfolgende Messungen ergaben auch eine durchschnittlich etwas geringere Entfernung der Platte 1 von der Glasplatte als die der Platte 2 von ihr.

Sieht man bei dieser letzten Tabelle schon ein Ansteigen der Störungsladung aus der wachsenden Differenz der Ausgleichspotentiale, wobei das errechnete Kontaktpotential konstant bleibt, so sieht man dieselbe Uebereinstimmung bei noch größerer [1] Störungsladung in folgender Tabelle.

P_{I}	+ 0,108	+ 0,102	+ 0,115	+ 0,125	— 0,127	— 0,135	— 0,146
P_{II}	— 0,082	— 0,087	— 0,096	— 0,103	— 0,105	— 0,117	— 0,130
$V_2 - V_1$	+ 0,013	+ 0,007	+ 0,010	+ 0,011	— 0,011	— 0,009	— 0,008
	+ 0,009	+ 0,009	+ 0,010	— 0,011	— 0,011	— 0,012	— 0,013

Volt

2 Stunden vorher wurde — 0,012 Volt, 3 Minuten nachher — 0,005 Volt ohne Glas dazwischen bestimmt.

Zieht man wiederum den schwachen Gefäßeinfluß sowie einen möglichen Unterschied der Luftabstände von 0,1 mm in Betracht, so stimmen die errechneten Kontaktpotentiale mit den ohne Glas gemessenen innerhalb der Fehlergrenzen überein.

Daß hier eine so geringe Kontaktpotentialdifferenz zwischen den zu vergleichenden Platten herrschte, ist für die Beweiskraft der Versuche ohne Belang. Sind größere Kontaktpotentialdifferenzen durch Glas hindurch zu bestimmen, so muß man durch ein passend gewähltes Hilfspotential die wirkliche Potentialdifferenz zwischen beiden Platten klein halten (s. § 3) und hat dann den soeben experimentell geprüften Fall vor sich. Daß die Messungen größerer Kontaktpotentiale nicht auch experimentell geprüft wurde, lag daran, daß die verfügbaren Metalle mit höheren Kontaktpotentialdifferenzen gegen altes Messing nicht konstant genug waren, um eine scharfe Kontrolle zu gestatten.

Es ist also möglich, eine beliebige (nicht allzu veränderliche) Kontaktpotentialdifferenz durch eine trennende Glasplatte hindurch zu messen. Das eine der beiden Metalle, das als Normal benutzt werden soll, kann

[1]) Absichtlich wurde die Platte nicht weiter entladen.

man dabei in einer für alle Fälle festgelegten unveränderlichen Gasatmosphäre halten, während man nur auf das andere verschiedene Gasatmosphären und Gasdrucke wirken lassen kann.

Die Fehlergrenze des Ergebnisses kann man aus der Dicke und der Dielektrizitätskonstante der Glasplatte leicht finden [s. Formel (10)]. Die Fehler lassen sich bei genügend sorgfältigen Arbeiten (s. § 3) und durch Verwendung eines hochempfindlichen schnellanzeigenden Elektrometers von geringer Kapazität wahrscheinlich beliebig klein machen.

§ 6. Weitere Messungen.

a) Aus dem Vorangehenden ist ersichtlich, daß in sehr weiten Gefäßen Messungen nach Formel *III* keinen Schwierigkeiten begegnen werden. In solchen Gefäßen kann man die Form, die Größe und den Abstand der Elektroden so wählen, daß fast dieselben Verhältnisse wie beim Plattenkondensator vorliegen, sodaß Formel *III* anwendbar bleibt. Man wird also dann den Gefäßeinfluß studieren können, ohne das ihm unterworfene Metall aus dem Gefäße entfernen zu müssen. Ebenso läßt sich dann die Frage nach der Einwirkung anderer Gase (eventuell auch bei verändertem Drucke) auf das eingeschlossene Metall allein untersuchen.

Man kann auch nach den einfacheren Formeln *I* bezw. *II* vorgehen, falls man ein Vergleichsmaterial hat, das unter den Verhältnissen, denen es bei der beabsichtigten Untersuchung ausgesetzt ist, hinreichend unveränderlich bleibt. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ist es erwünscht, daß die äußere Elektrode nahe der Gefäßwandung steht. Nun ist bei dauernder Annäherung an den Isolator, hier also an schellackiertes Glas, Gefäßeinfluß auch auf diese äußere Elektrode zu befürchten. Man muß folglich als äußere Elektrode ein gegen Gefäßeinfluß [1]) möglichst unempfindliches Metall wählen. Ein solches ist nach den bisherigen Erfahrungen Messing mit sehr alter Oberfläche.

---

[1]) Beil, Ann. d. Phys., 31., 1910, S. 851.

Um dies für eine sehr alte Messingoberfläche zu kontrollieren, wurde eine Messingplatte mit mindestens 1 Jahr alter Oberfläche (früher als Normal 1 – N1 erwähnt) in den Pellatschen Apparat gebracht, ihr Kontaktpotential gegen die schon von Herrn Geh. Hallwachs als Normal benutzte obere Platte des Pellatschen Apparates gemessen, dann eine schellackierte Glasplatte in 0,6 mm Abstand über die alte Messingplatte gedeckt und nach 2 Minuten wieder entfernt. Nun wurde sofort das Kontaktpotential neu bestimmt; es ändert sich durch dies Ueberdecken innerhalb der Fehlergrenzen (± 0,007 Volt) kaum, wie die nachstehende Tabelle zeigt.

Alter der Oberfläche	Kontaktpotential vorm Ueberdecken	n. Entfernen des Glases	also Erhöhung
über ein Jahr	— 0,047	— 0,039	+ 0,008
„ „ „	— 0,039	— 0,040	— 0,001
„ „ „	— 0,076	— 0,084	— 0,008

Die beiden ersten Messungen geschahen innerhalb einer Viertelstunde, die dritte sechs Stunden später.

Bleibt das alte Messing längere Zeit dem schellackierten Glase gegenüber, so ergeben sich kaum stärkere Veränderungen, wie nachstehende Tabelle zeigt. Es wurde gefunden bei einer

Dauer des Ueberdeckens von	ein Kontaktpotential vorm Ueberdecken	n. Entfernen des Glases	also Erhöhung
5 Minuten	— 0,032	— 0,030	+ 0,002
13 „	— 0,052	— 0,047	+ 0,005
3 Stunden	— 0,047	— 0,048	— 0,001
5 Tagen	— 0,048	— 0,021	+ 0,027

Andere Messungen, zwischen denen das alte Messing frei an der Zimmerluft lag, zeigten, daß die natürlichen Schwankungen des Kontaktpotentiales bei dieser alten Oberfläche gewöhnlich + 0,006 Volt in der Stunde, bei starken Feuchtigkeitsschwankungen (Regenwetter) bis zu + 0,012 Volt in der Stunde betrugen, während an einem Tage die natürlichen Schwankungen + 0,004 Volt erreichten. Demnach bleibt auch die beim letzten Versuche beobachtete durch Annäherung der Glasplatte verursachte stärkere Veränderung von 0,027 Volt unterhalb der in 5 Tagen möglichen natürlichen Schwankung des Kontaktpotentials. Sehr altes Messing kann also auch unter derartig starker Annäherung an den Isolator auf viele Stunden hinaus innerhalb weniger Tausendstel, auf Tage hinaus innerhalb weniger Hundertstel Volt als konstant angenommen werden.

Es scheint sogar der Gefäßeinfluß ein Mittel zu sein, um praktisch unveränderliche Normale herzustellen, da eine in völlig geschlossenem Gefäße unter konstanter Temperatur und Druck gehaltene Gasmenge sicher auch einen besser definierten Zustand der Metalloberfläche verbürgt als die nach Druck, Temperatur und Feuchtigkeit wechselnde [1]) gewöhnliche Atmosphäre.

Als Beispiel dafür, wie verschieden von dem untersuchten alten Messing anderes Material sich unter den gleichen Bedingungen erhalten kann, seien noch einige Zahlen für Zink angeführt. Daß frisch hergestellte Oberflächen (besonders von Zink) ihr Kontaktpotential unter dem Gefäßeinfluß rasch verändern, ist schon länger bekannt und in der Arbeit von Herrn Beil [2]) näher untersucht worden. Daß aber auch mehrere Tage, ja Wochen alte Oberflächen noch recht starker Veränderungen durch kurzdauernde Gegenüberstellung einer schellackierten Glasplatte fähig sind, zeigen nachstehende Versuche.

---

[1]) Beil. Ann. d. Phys., 1910, S. 873; auch chemische Zusammensetzung CO_2.

[2]) Beil, ib. S. 858.

Es wurden zu diesem Zwecke zwei Zinkplatten geschabt bezw. geschmirgelt, mehrere Tage frei an der Zimmerluft liegen gelassen und ihr Kontaktpotential im gewöhnlichen Pellatschen Apparate bestimmt. Hierauf wurden sie herausgenommen, 2 Minuten lang mit schellackiertem Glase im Abstande von 0,6 mm überdeckt, dann dieses weggenommen und sofort das Kontaktpotential der Zinkplatten neu bestimmt. Diese Messungen wurden am gleichen Tage mehrfach wiederholt. Es ergab sich für die geschmirgelte Platte:

Alter der Oberfläche	Kontaktpotential		
	vorm Ueberdecken	n. Entfernen des Glases	Erhöhung
12 Tage	+ 0,83	+ 0,96	+ 0,13
„ „	+ 0,58	+ 0,75	+ 0,17
„ „	+ 0,75	+ 0,93	+ 0,18
„ „	+ 0,52	+ 0,73	+ 0,21

geschabte Zinkplatte:

8 Tage	+ 0,38	+ 0,46	+ 0,08
„ „	+ 0,40	+ 0,58	+ 0,18
40 „	— 0,20	+ 0,42	+ 0,62

Also selbst 40 Tage alte Zinkoberflächen zeigen starke Beeinflussung schon durch 2 Minuten langes Gegenüberstellen einer schellackierten Glasplatte in 0,6 mm Abstand. Dagegen zeigten mehrere über zwei Jahre alte Zinkoberflächen nur noch Spuren von Gefäßeinfluß bei ebenso kurzdauernder Glasannäherung.

Um auch den Gefäßeinfluß des Pellatschen Apparates selbst auszuschalten, wurde eine andere Zinkplatte im Innern des Apparates gelassen und dort je 2 Minuten mit schellackiertem Glase überdeckt (wieder

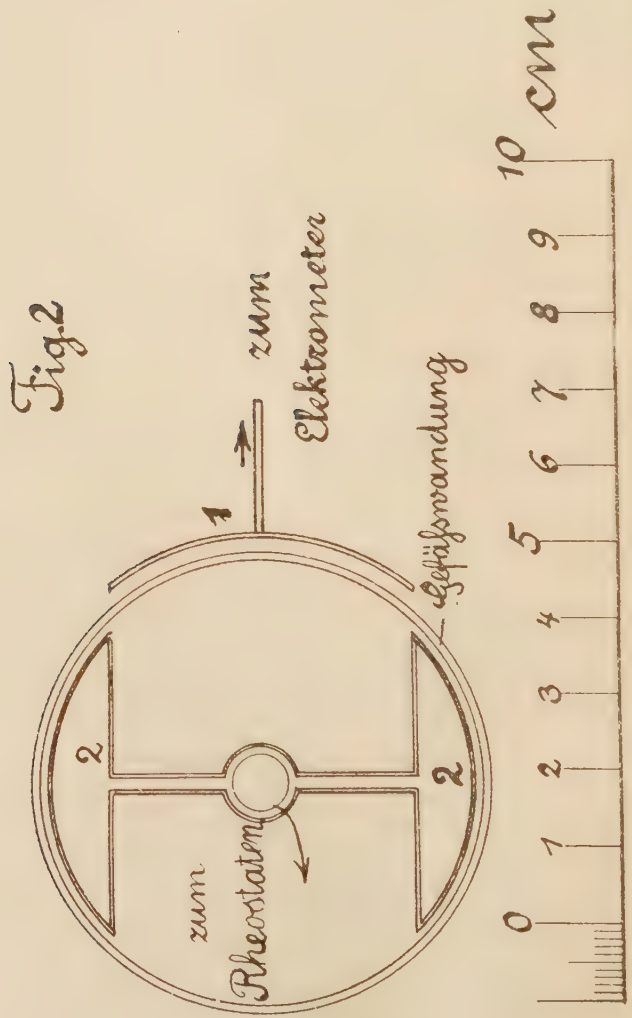
0,6 mm Abstand). Es ergab sich für diese geschabte Zinkplatte, deren Oberfläche an der freien Luft im Zimmer altern konnte und die nur zur Messung in den Apparat gebracht wurde:

Alter der Oberfläche	Kontaktpotential		
	vorm Ueberdecken	n. Entfernen der Glasplatte	Erhöhung
5 Tage	+ 0,52	+ 0,66	+ 0,14
„ „	+ 0,47	+ 0,62	+ 0,15
7 „	+ 0,15	+ 0,25	+ 0,10
„ „	+ 0,05	+ 0,56	+ 0,51
„ „	+ 0,31	+ 0,49	+ 0,18
„ „	+ 0,34	+ 0,59	+ 0,25

Zu bemerken wäre noch, daß mit zunehmendem Alter diese Erscheinung immer unregelmäßiger wird.

b) Für weitere Versuche in Gefäßen wäre es wünschenswert, mit relativ kleinen Gefäßen arbeiten zu können, um keine unhandlich große Versuchsanordnung zu erhalten, bei der evtl. Evakuieren und Gaswechsel große Schwierigkeiten bereiten würden, und die die Platte vertretende Glaswandung zylindrisch zu wählen, damit sie auch für größere Ueber- bezw. Unterdrucke nicht zu dick genommen zu werden braucht, denn eine dicke Wandung gibt eine größere Unsicherheit der Messung (s. § 4 Ende), wenn man nicht ein außerordentlich empfindliches und zugleich schnell anzeigendes Elektrometer hat, sodaß man mit großen Nahabständen und kleinen Bewegungen arbeiten kann. Ehe man hier jedoch nach der in dieser Untersuchung angegebenen Methode (Formel *III*) verfährt, muß man sich erst überzeugen, ob die für den Plattenkondensator in § 4 aufgestellten Formeln für die gewählte Elektrodenform noch gültig sind. Im Folgenden wurde versucht, ein zweckentsprechendes kleines zylindrisches Gefäß zu konstruieren. Um keinen

komplizierten Mechanismus in das verwendete Gefäß einbauen zu müssen, wurde innen keine Elektrode abgezogen, sondern es trat durch Drehung um 90° (s. Fig. 2) an die Stelle der einen Fläche 2 eine andere von gleichem Materiale (altes Messing), die aber in



anderem Abstande von der Wandung war. Dadurch wurde die Kapazität verändert, wie früher floß ein Teil der Ladung ins Elektrometer und erzeugte dort einen Ausschlag. Es wurde also das Kontaktpotential

einer alten Messingoberfläche am Drehkörper gegen eine feste alte Messingoberfläche, die sich der Form des Gefäßes anschmiegte, außerhalb des Gefäßes direkt bestimmt. Diese vor und nach der „Messung durchs Glas hindurch“ erhaltenen Werte stimmten ziemlich überein (+ 0,22 und + 0,23 Volt). Wurde jedoch aus den Messungen durchs Glas hindurch das Kontaktpotential einfach nach Formel *III* errechnet, so ergaben sich Werte, die um + 0,10 davon abwichen (+ 0,29, + 0,33, + 0,35, + 0,30 Volt). Da dieser Unterschied bei dem Alter und Materiale [1]) beider Oberflächen nicht vom Gefäßeinflusse stammen kann, so sieht man, daß die veränderte Kondensatorform die frühere Berechnungsweise unbrauchbar gemacht hat.

c) Zahlreiche Versuche wurden angestellt, um zu sehen, ob man nicht doch etwa nach Formel *I* bezw. *II* allein in einem solchen relativ kleinen Gefäße mit Drehelektrode zu brauchbaren Ergebnissen gelangen kann. Sie führten aber auch zu keinen befriedigenden Ergebnissen, bestätigen höchstens den von Herrn Beil untersuchten Gefäßeinfluß sowie die unter a) aufgeführten Resultate an älteren Zinkoberflächen.

Diese Versuche wurden schließlich nach längerem Arbeiten abgebrochen. Die beabsichtigte Fortführung der Beobachtungen und Messungen über Kontaktpotentiale, bei denen nun größere Gefäße verwendet werden sollten, konnte Verfasser aus Zeitmangel infolge amtlicher Beanspruchung leider nicht ausführen, was derselbe umsomehr bedauert, als solche Versuche nach dem Vorhergehenden sicheren Erfolg versprachen.

[1]) s. die ersten unter a) angeführten Versuche.

Für die Anregung zur vorliegenden Arbeit sowie die mir während der Dauer meiner Untersuchungen in reichem Maße zuteil gewordene vielseitige Belehrung und gütige Unterstützung spreche ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimrat Prof. Dr. Hallwachs, meinen herzlichsten Dank aus. Seinem Adjunkten, Herrn Prof. Dr. Toepler, danke ich ebenfalls verbindlichst für die liebenswürdige Hilfe bei meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Heydweiller bin ich für die gütige Uebernahme des Referates zu Danke verpflichtet.

Dresden, Physikalisches Institut der Kgl. Techn. Hochschule,
Oktober 1912.

Lebenslauf.

Am 18. September 1886 wurde ich, Alfred Ewald Bauermann, in Reudnitz bei Leipzig geboren, als Sohn des Maschineningenieurs Franz Albert Bauermann und seiner Ehefrau Hilda Karoline geb. Wegerich. Nach dem Besuche der Bürgerschule trat ich Ostern 1898 in das Annenrealgymnasium zu Dresden ein, wo ich Ostern 1907 die Reifeprüfung ablegte. Von da ab studierte ich an der Kgl. Sächs. Technischen Hochschule zu Dresden in der Allgemeinen Abteilung Mathematik und Physik, wobei ich die Vorlesungen und Uebungen der Herren Dember, Disteli, Elsenhans, Esche, Gravelius, Grübler, Hallwachs, Helm, Hempel, Krause, Ludwig, Luther, Naetsch, Pattenhausen, Scheffler, Schultze, Toepler, Walzel, besuchte.

Allen meinen verehrten Lehrern, besonders aber den Herren Geh. Hofrat Prof. Dr. Hallwachs und Geh. Hofrat Prof. Dr. Krause spreche ich für meine Förderung meinen herzlichsten Dank aus.